

seul *Beppo-SAX* fut placé sur orbite, le 20 avril 1996.

Les sursauts gamma furent découverts accidentellement à la fin des années 1960 par la série de satellites *Vela*, du Département américain de la défense. Ces satellites détectives traquaient les éventuelles explosions nucléaires clandestines soviétiques dans l'espace, peut-être dissimulées derrière la Lune. À la surprise des militaires, les satellites enregistrèrent un rayonnement gamma qui n'émanait pas de la Terre, mais de l'espace. Lorsque cette découverte fut révélée au public, en 1973, les astronomes saluèrent la découverte d'un nouveau phénomène cosmique.

Après ces premières observations, les supputations sur la source des sursauts gamma abondèrent : trous noirs, supernovae, restes denses et sombres d'étoiles nommés étoiles à neutrons, etc. Toutefois, la question fondamentale demeurait : on ignorait si les sursauts naissaient à 100 années-lumière ou à plusieurs milliards d'années-

lumière de la Terre, dans une galaxie lointaine. Par conséquent, il était difficile d'estimer l'énergie des événements originels.

Des étoiles à neutrons locales ?

Au cours des années 1980, les astronomes s'accordèrent pour penser que les sursauts provenaient d'étoiles à neutrons proches, situées dans notre Galaxie. En effet, on avait observé des raies sombres dans les spectres (où le rayonnement gamma est dispersé, comme la lumière par un prisme) de certains sursauts, et les théoriciens avaient supposé que ces raies proviennent d'une émission par des électrons accélérés à des vitesses relativistes, lors de la reconnexion des lignes de champ magnétique d'une étoile à neutrons. Sur le Soleil, un phénomène similaire, quoique à des énergies moindres, déclenche les éruptions solaires.

En avril 1991, la navette spatiale *Atlantis* mit sur orbite l'Observatoire

Compton, où était embarqué un instrument d'étude des sources gamma transitoire, BATSE. En un an, BATSE infirma toutes les hypothèses. Les sursauts gamma ne se répartissaient pas le long de notre Galaxie, la Voie lactée, et ils n'émanaient pas de galaxies proches ou d'amas de galaxies. Ils se répartissaient au contraire de manière isotrope, en nombre à peu près égal dans toutes les directions du ciel (*voir la figure 6*). Cette isotropie des sources laissait toutefois le champ ouvert à de multiples possibilités, d'une origine très locale (le Système solaire), à extragalactique en passant par une origine galactique. Selon les théoriciens, dans ce dernier cas, les sursauts provenaient d'étoiles à neutrons occupant un grand halo sphérique, autour de la Galaxie.

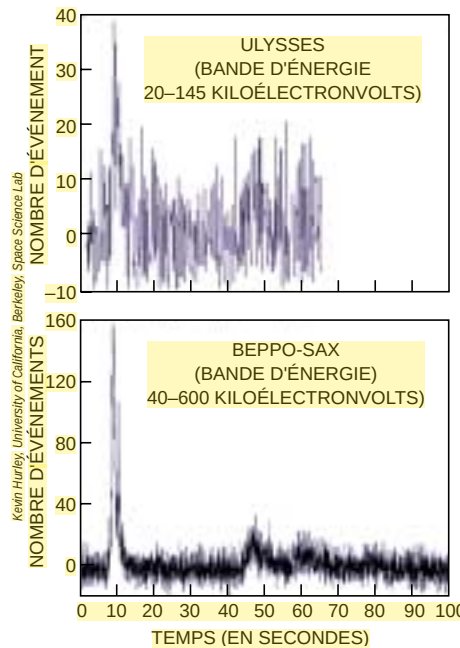
Cependant, ce dernier modèle se heurte à une difficulté majeure : la Terre se trouve à près de 25 000 années-lumière du centre de notre Galaxie. Aussi, ce halo doit être très vaste. Pour que, de la Terre, nous voyons les étoiles



sources de sursauts gamma réparties uniformément sur la voûte céleste, il doit mesurer près de 600 000 années-lumière de rayon. S'il en est ainsi, le halo de la galaxie voisine, Andromède, devait être aussi étendu et on devrait observer une concentration de sursauts dans sa direction. Or, BATSE n'a rien décelé de tel. Mais en a-t-il les moyens?

L'uniformité de la répartition des sursauts gamma a convaincu la plupart des astrophysiciens qu'ils naissent jusqu'à des distances de trois à dix milliards d'années-lumière. À de telles distances, les sursauts devraient cependant montrer les effets de l'expansion de l'Univers : les galaxies lointaines s'éloignent de la Terre à grande vitesse, car la lumière qu'elles émettent est décalée vers des fréquences inférieures, plus rouges pour les rayonnements visibles. De la même manière, les sursauts gamma devraient présenter un «décalage vers le rouge» ainsi qu'un allongement de leurs durées.

Malheureusement, BATSE n'a pas été conçu pour détecter dans le domaine des rayons gamma, les raies brillantes ou sombres qui caractérisent des éléments chimiques spécifiques et qui seraient décalées vers le rouge. En avril 1997, des astronomes utilisant le télescope *Keck*, à Hawaï, ont obtenu un spectre dans le visible de la lueur résiduelle de GRB 970228 : il est lisse et rouge, dépourvu de raies révélatrices. Toutefois, Jay Norris, du Centre spatial *Goddard* de la NASA, et Robert Mallozzi, de l'Université d'Alabama, ont analysé statistiquement les sur-



2. ÉVOLUTION TEMPORELLE du sursaut GRB 970228, mesurée par la sonde *Ulysse* (en haut) et par le satellite *Beppo-SAX* (en bas). On remarque une bouffée de photons gamma, brève et intense.

sauts observés : d'après leurs résultats, les spectres des sursauts les plus faibles, et par conséquent les plus lointains, sont dilatés temporellement et décalés vers le rouge. D'autres interprétations (controversées) existent néanmoins.

La grande variété des sursauts rend toute explication difficile. Un sursaut peut durer entre 30 millisecondes et 15 minutes – et, dans un cas, plus d'une heure et demie. La luminosité de certains sursauts varie de manière

imprédictible : on observe des bouffées de rayonnement intense sans émission détectable entre elles. D'autres sursauts décroissent continûment. Les spectres sont également compliqués. La majeure partie de l'énergie d'un sursaut est émise entre 100 000 et un million d'électronvolts, indication de la grande température de la source (l'énergie des photons situés dans le visible, principal rayonnement de notre Soleil à 6 000 °C, est de quelques électronvolts). Avec le temps, la fréquence de certains sursauts gamma diminue lentement, de sorte qu'ils émettent des rayons X. Bien que totalisant seulement un dixième de l'énergie du sursaut gamma, l'émission X comporte beaucoup de photons, car ces derniers sont moins énergétiques que les photons gamma.

Si les sursauts émanent de distances cosmologiques, leurs énergies doivent être supérieures à 10^{44} joules (il faut environ 1 joule pour soulever 100 grammes à une hauteur de un mètre). Cette énergie doit être émise en moins de quelques secondes dans une région qui mesure quelques dizaines de kilomètres de diamètre.

Quelles circonstances pourraient engendrer une telle concentration

3. GRÂCE À L'IMAGE EN RAYONS X obtenue par le satellite *Beppo-SAX* le 28 février (image de gauche), on localisa le sursaut à quelques minutes d'angle près. Au sol, les télescopes purent alors rechercher une émission dans le visible. Le 3 mars, la source s'était considérablement affaiblie (image de droite).

